

text

(5)

AN: PAT 2002-165225
TI: Layered ceramic composite materials or monolithic structures production, used e.g. as support material for electric switches, comprises forming ceramic film to form first layer
PN: DE10030106-A1
PD: 07.02.2002
AB: NOVELTY - Production of layered ceramic composite materials or monolithic structures comprises forming a ceramic film to form a first layer by casting a first slip on a substrate; casting a further slip on the first layer to form a multiple layered ceramic film; drying the uppermost layer; and sintering.
DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for a doctor blade arrangement for carrying out the process. The slips contain a solvent as the liquid phase, to which a dispersant, binder and/or softener are added. The first slip contains a first ceramic powder as the solid component and the further slip contains a second ceramic powder as the solid component. The first layer is dried before casting the further slip so that a green film is formed.; USE - Used as support material for electric switches or as starting material for multiple layered capacitors, piezo-actuators, gas sensors and housings. ADVANTAGE - Different materials having different thicknesses can be continuously joined together.
PA: (ROOS/) ROOSEN A; (WAGN/) WAGNER M;
IN: ROOSEN A; WAGNER M;
FA: DE10030106-A1 07.02.2002;
CO: DE;
IC: B28B-001/16; B32B-018/00;
MC: L02-A03; L02-J; L03-B04A; L03-J; V03-C07;
DC: L02; L03; P64; P73; V03;
PR: DE10030106 19.06.2000;
FP: 07.02.2002
UP: 05.04.2002



Offenlegungsschrift

DE 100 30 106 A 1

⑤ Int. Cl.⁷:
B 28 B 1/16
B 32 B 18/00

B3

⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND
DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

② Aktenzeichen: 100 30 106.1
② Anmeldetag: 19. 6. 2000
④ Offenlegungstag: 7. 2. 2002

⑦ Anmelder:
Roosen, Andreas, Prof. Dr.-Ing., 91054 Erlangen,
DE; Wagner, Matthias, Dipl.-Ing.(Univ.), 96135
Stegaurach, DE

⑪ Vertreter:
Gaßner, W., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 91052 Erlangen

⑦ Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen
Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤ Verfahren zur Herstellung von geschichteten Verbundwerkstoffen und dicken monolithischen Strukturen

⑤ Die Erfinbung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von
geschichteten keramischen Verbundwerkstoffen oder
monolithischen Strukturen mit folgenden Schritten:
Herstellung einer ersten Schicht bildende keramische
Folie durch Vergießen eines ersten Schlickers auf eine
Unterlage,
Aufgießen mindestens eines weiteren Schlickers auf die
erste Schicht, so daß eine mehrschichtige keramische Fo-
lie gebildet ist,
Trocknen zumindest einer obersten Schicht der mehr-
schichtigen keramischen Folie und
Sintern der getrockneten mehrschichtigen keramischen
Folie.

DE 100 30 106 A 1

Beschreibung

Anwendungsgebiet

[0001] Verbundwerkstoffe aus unterschiedlichen keramischen Stoffen, insbesondere im geschichteten Aufbau finden zunehmendes Interesse. Den Schichtenaufbau kann man ausgehend von keramischen Folien, die über das Foliengießverfahren hergestellt wurden, aufbauen. Dem Übereinanderstacken der Folien folgt ein Laminierschritt, bei dem die einzelnen Folienlagen miteinander verbunden werden. Im Sinterschritt wird dann der feste Verbund hergestellt. Der Laminationsprozeß birgt die Gefahr der fehlerhaften Durchführung, so daß es beim Sintern zu Delaminationen kommen kann. Mit dieser Erfindung wird der Schritt der Lamination und die dabei auftretenden Probleme umgangen. Es handelt sich um ein Mehrlagen-Foliengießen zur direkten Herstellung geschichteter keramischer Verbundstrukturen.

Stand der Technik

[0002] Das Foliengießen ist ein wichtiger und zudem kostengünstiger Prozeß für die Herstellung großflächiger, dünner und ebener Keramikbauteile, die in der Technik vorwiegend als Trägermaterialien für elektrische Schaltungen oder als Ausgangsmaterialien für mehrlagige Kondensatoren, Piezo-Aktoren, Gassensoren und Gehäusen Einsatz finden.

[0003] Die gegossenen Grünfolien erreichen Dicken von 20 µm bis 1000 µm [1]. Produkte in diesem Dickenbereich lassen sich nicht mit den anderen üblichen Keramikherstellungsverfahren, wie zum Beispiel dem Trockenpressen oder dem Extrudieren, kostengünstig realisieren [2].

[0004] Für die Formgebung beim Foliengießen wird das keramische Pulver in einer hochviskosen Schlicker mit einem möglichst hohen Feststoffgehalt überführt. Wichtig ist hierbei eine gute Dispergierung des Pulvers, um Agglomerate aufzulösen und somit Defekte bei der Trocknung in der Grünfolie zu verhindern. Zur guten Deagglomeration werden dem Lösemittel und dem keramischen Pulver Dispergiermittel zugesetzt. Dem Gießschlicker müssen weiterhin Hochpolymere zugegeben werden. Ihre wesentliche Aufgabe besteht in der Bindung der nichtplastischen Feststoffpartikel nach dem Trocknen durch Verschlußfunktion, wodurch die keramische Grünfolie für eine weitere Handhabung notwendige Festigkeit und Flexibilität erhält. Nach dem Sintern werden die organischen Hilfestoffe durch einen thermischen Einbindungsprozeß entfernt. Hierbei ist entscheidend, daß ein rückstandsfreier Ausbrand des gesamten Additivs erfolgt, so daß beim Sinterbrand ein defektfreier keramischer Körper erhalten werden kann.

[0005] Als gängigstes Foliengießverfahren hat sich das DOCTOR-BLADE-Verfahren etabliert. Bei diesem Verfahren befindet sich ein Schlicker in einem Gießschuh, dessen Schneide (DOKTOR BLADE) höhenverstellbar ist. Unter diesem feststehenden Gießschuh bewegt sich ein Band, das den Schlicker unter der Schneidenöffnung als dünnen Film mitzieht. Als Trägermaterial können ein Endlos-Stahlband oder ein Polymerfilm dienen. Das Produkt wird in einem Trockenkunststoff getrocknet und anschließend von dem Trägermaterial getrennt. Die so erhaltene Grünfolie kann einer weiteren Verarbeitung wie Stanzen, Metallisieren oder Laminieren zugeführt werden [3].

[0006] Für die jeweilige Foliedicke sind neben der Schneidenhöhe (diese kann mittels Mikrometerschrauben verstellt werden) auch die Ziehgeschwindigkeit der Trägerfolie, der Schlickerstand im Gießschuh (hydrostatischer Druck) und die Schlickerkristallinität verantwortlich. Üblicherweise wird die Schneidenhöhe zwei- bis dreimal so

hoch eingestellt wie die gewünschte Stärke der getrockneten keramischen Grünfolien, da noch die Trockenschwundung nach dem Gießprozeß zu berücksichtigen ist.

[0007] Will man nun zwei oder mehrere Grünfolien miteinander verbinden; wendet man das Verfahren der Lamination an [3]. Hierbei werden die Grünfolien unter Druck und erhöhte Temperatur (60 bis 80°C) nach dem Thermokompressionsverfahren verdichtet. Dabei wird der organische Binder weich, die keramischen Pulverteilchen werden beweglich und können in den Grenzfläche der zu verbindenden Folien ineinander geschoben werden. Im Idealfall wird nach dem Sintern die Grenzfläche nicht mehr sichtbar sein. Der Laminationsprozeß birgt die Gefahr der fehlerhaften Durchführung, so daß es beim Sintern zu Delaminationen kommen kann. Auf diesem Wege wurden Schichtstrukturen aus Al_2O_3 und ZrO_2 hergestellt [6, 7].

[0008] In der Literatur wurde ein Mehrlagen-Foliengießen als eine prinzipielle Möglichkeit dargestellt [4], um verschiedene Materialien mit geringfügig veränderter Zusammensetzung zu einem Gradientenwerkstoff aufzubauen. Da wurden die Schlicker direkt naß aufeinander gegossen. Es handelt sich um 99.5% Al_2O_3 , das mit 0.5% Tals und in der mittleren Schicht mit 0.5% MnO dotiert war. In einem anderen Fall wurde ein solches Verfahren ebenfalls zur Herstellung von piezokeramischer Gradientenstrukturen [5] eingesetzt, d. h. die Zusammensetzung der Piezokeramik wurde in den verschiedenen Schichten geringfügig verändert, um so einen Gradienten herzustellen.

Nachteile des Stands der Technik

[0009] Über das Foliengießverfahren können keine Foliedicken > 1 mm hergestellt werden, da sonst die Trocknung der Folien zu lange Zeit in Anspruch nimmt und die Gefahr der Rißbildung während des Trocknens auf Grund der inhomogenen Trocknung von oben nach unten stark ansteigt.

[0010] Um größere Dicken herzustellen oder um unterschiedliche Materialien miteinander zu verbinden, wird die Lamination eingesetzt. Bei der herkömmlichen Lamination werden die Folien vor dem Laminieren geschnitten, und in sog. Laminationsschablonen oder Pressen übereinandergelagert und dabei aufeinander positioniert. Dann wird Druck und Temperatur aufgebracht. Der ganze Vorgang findet in einer Laminationsmatrix statt, um die Veränderung der äußeren Geometrie durch den auftretenden Massenfluss während der Thermokompression zu verhindern. Das Thermokompressionsverfahren erfordert eine Haltezeit, bis der gesamte zu laminierende Folienstapel die Laminationstemperatur erreicht hat. Der verwendete Druck und die Temperatur müssen auf das zu verbindende Produkt genau abgestimmt werden [6, 7]. Wird die Grünfoliedicke verändert, müssen die Laminationsparameter neu optimiert werden. Dies ist ein sehr aufwendiges Verfahren und benötigt viel Erfahrung. Dadurch erhöhen sich die Kosten für die Herstellung der Folien enorm.

[0011] Trotz Anpassung und Optimierung der Laminatparameter treten häufig beim Laminieren Laminatdefekte oder Inhomogenitäten auf, die zu einem frühzeitigen Versagen des Bauteils führen können und somit die Lebensdauer herabsetzen. Keramische Folien, die über das Laminieren hergestellt wurden, zeigen während des Sinterbrandes (Cofiring) eine starke Neigung zum Verwölben und zum Brechen.

[0012] Das direkte Aufeinandergießen der Schlicker im nassen Zustand begrenzt die gießbare Dicke, da mit zunehmender Gesamtdicke die Trocknung der Folien erschwert wird.

Aufgabe der Erfindung

[0013] Es sollte ein Verfahren entwickelt werden, bei dem der aufwendige Schritt der Lamination mit seinen geschleierten Nachteilen entfällt und auch unterschiedlichste Materialien in weiten Dickenbereich kontinuierlich miteinander verbunden werden können.

Lösung der Aufgabe

[0014] Durch das Übereinandergießen von Foliengießschlickern konnte die Aufgabe gelöst werden. Es ist keine Lamination mehr erforderlich.

[0015] Dabei hat sich überraschenderweise herausgestellt, daß nicht nur das direkte Übereinandergießen der Schlicker möglich ist, sondern auch ein zeitlich versetztes Aufgießen möglich ist. Dadurch können insbesondere auch sehr dicke Folienverbünde hergestellt werden. Dazu werden die Folien in einer Dicke c = 1 mm auf einer Foliengießanlage gegossen. Dies kann kontinuierlich geschehen, wobei die getrockneten flexiblen Grünfolien auf Rollen aufgewickelt werden. In einem weiteren Schritt oder in weiteren Schritten kann nun auf diese Folie erneut Schlicker gegossen werden. Auf diese Weise können Folienverbünde unterschiedlicher Dicke kontinuierlich hergestellt werden, ohne daß es einer Lamination bedarf.

[0016] Ferner hat sich überraschenderweise gezeigt, daß bei dem Aufeinandergießen unterschiedlicher Schlickermaterialien nach dem Sintern eine rißfreie, ungeschädigte Grenzschicht entsteht, ohne daß nach dem Verfahren der Thermokompression laminiert wurde und die geforderte Verschachtelung der unterschiedlichen Partikel in der Grenzfläche nicht stattfand.

Vorteile der Erfindung

- Durch das Aufeinandergießen von Schlickern entfällt der aufwendige Schritt der Lamination.
- Es können Strukturen hergestellt werden, die aus unterschiedlichen Materialien bestehen und an den Grenzschichten zwischen den einzelnen Folienlagen keinerlei Defektkstellen aufweisen, einen total festen Verbund haben und somit keine Schwachstellen in den Grünfolien darstellen (Abb. 2). Es entstehen daher beim Sintern keine Delaminationsprobleme. Es werden rißfreie, fest verbundene Verbunde erhalten.
- Durch das Aufeinandergießen können Schichtstrukturen gegossen werden (< 50 µm), die mittels Lamination nur sehr schwer handhabbar sind.
- Durch das Aufeinandergießen können Schichtdicken gegossen werden (> 1000 µm), die über das Foliengießverfahren in einem Einzelschritt nicht herstellbar sind und die mittels Lamination nur sehr schwer herstellbar sind.
- Werden sog. Sandwichstrukturen hergestellt, so wird die Verwölbung während des Cofiring-Prozesses ausgeschlossen. Es können vollkommen ebene und rißfreie keramische Substrate hergestellt werden, die für die weitere Verwendung einsetzbar sind. Die beim Cofiring von laminierten Schichtstrukturen häufig beobachteten Defekte sind bei diesen Substraten nicht beobachtbar.
- Materialien mit unterschiedlichen elektrischen, mechanischen, thermischen, chemischen Eigenschaften, Härten, Porensystemen etc. und anderen Gradientenstrukturen können produziert werden.
- Der Hersteller hat die Möglichkeit, eine gegossene Folie zu trocknen und danach erst eine weitere Schicht

aufzugießen, was das Verfahren sehr flexibel macht. Auf der anderen Seite können die Schichten gleichzeitig auf einem Band in einem Schritt aufgegossen werden, ohne daß die einzelnen Schichten miteinander verschmilzt werden.

- Die Festigkeitswerte der direkt aufeinander gegossenen Substrate werden durch diese Prozeßtechnik verbessert.

- Durch die Herstellung von Substraten aus unterschiedlichen Materialien wird der Spannungsinhaltswert K_Ic erhöht.

- Insbesondere eignet sich das Verfahren auch zum Aufgießen auf faserartige Vorprodukte, um Faserverbundprojekte herzustellen. Insbesondere eignet sich das Verfahren auch zum Aufeinandergießen unterschiedlicher keramischer Materialien bzw. unterschiedlicher Vorprodukte wie z. B. polymer-keramische Precursoren.

- Das Verfahren kann als kontinuierliches Verfahren angewendet werden.

- Das Verfahren kann auf getrocknete Folien angewendet werden, in dem auf bereits getrocknete Grünfolien gegossen wird.

- In einer symmetrischen Aufbauweise werden Verzugsprobleme minimiert. Unterschiedliche Materialien sind ohne besondere Anpassungen zu rißfreien Strukturen sinterbar.

- Es werden bessere Verbundfestigkeiten zwischen den einzelnen Schichten aus unterschiedlichen Materialien erhalten als mit dem Laminationsverfahren. Mehrfach vergossener Strukturen können durch Kompatibilität mit der Lamination ebenfalls zu vielschichtigen Laminaten aufgebaut werden.

35 [0017] Im einzelnen wurde wie folgt vorgegangen:

Beispielbeschreibung

[0018] Das neue Herstellungsverfahren für keramisch geschichtete Verbundstrukturen mittels Aufeinandergießen wird an nachfolgenden Ausführungsbeispielen näher beschrieben und mit Hilfe von Zeichnungen dargestellt:

[0019] Abb. 1 Aufbereitung eines Gießschlickers,

[0020] Abb. 2 REM-Aufnahme: Dichtgesintertes, dreilagiges $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Substrat, symmetrisch bezüglich der Schichtdicken aufgebaut, gebrochene Probe und

[0021] Abb. 3 Handrakel mit höhenverstellbaren Schneiden.

[0022] Für die Durchführung werden zwei organische Schlickersysteme verwendet. Als Lösungsmittel dient ein Gemisch aus Toluol und Ethanol; die verwendeten Pulver sind ein Aluminiumoxid-Pulver Al16 SG der Firma Alcoa, USA und ein 3 mol% Y_2O_3 stabilisiertes Zirkondioxid-Pulver 3Y der Firma Tosoh, Japan. Die Aufbereitung der Gießschlicker erfolgt gemäß dem Fließschema in Abb. 1.

[0023] Es werden dreilagige Grünfolien über das gleichzeitige Aufgießen zweier unterschiedlicher Schlicker erstellt. Die höhenverstellbaren Blädes werden so eingestellt, daß die Schichten jeweils eine Dicke von 250 µm besitzen.

[0024] Die Schlicker sind so in die Handrakel eingegossen, daß nach dem Vergießen die beiden Außenbeschichtungen aus Aluminiumoxid und die Zwischenschicht aus Zirkonoxid besteht. Diese Sandwichstruktur zeigt nach dem Trocken keinerlei Risse oder Inhomogenitäten. Außerdem ist es visuell nicht erkennbar, daß die Grünfolie dreilagig vergossen ist. Nach dem Sinterbrand mittels eines geeigneten Sinterprofils sind diese Substrate auch ohne Gewichtsauflage zu ebenen Substraten ohne Risse und Verwölbungen versintert. Trotz der

unterschiedlichen Sinterschwindung von Al_2O_3 und ZrO_2 führen in der Sandwichstruktur $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ die dabei entstehenden Spannungen zu keinem Bruch, da durch die größere Schwindung der Zirkondioxidschicht Druckspannungen in die Aluminiumoxidsschicht eingebracht wurden. [0024] REM-Aufnahmen zeigen völlig dicht gesinterte und rüffreie Schichtstrukturen (Abb. 2). Die Grenzschichten der unterschiedlichen Materialien haben nur eine sehr geringe Schicht, der gegenseitigen Durchdringung von Al_2O_3 und ZrO_2 , die kleiner als $1 \mu\text{m}$ ist. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß die vorliegenden Oberflächenspannungen keine turbulenten Grenzschichten ausbilden, die zu stärkeren Gradienten führen würden. Es ist möglich mit dieser Method symmetrisch aufgebaute Substrate zu erstellen, die im Vergleich zu reinen Aluminiumoxidfolien eine bessere Festigkeit und einen besseren Spannungsinhaltsfaktor besitzen.

[0025] Für das Aufeinandergießen von Schlickern wurde eine geeignete Apparatur entwickelt, da übliche Foliengießanlagen nur für das Gießen einer Schicht ausgelegt sind. Dazu wurden in Anlehnung an Mistler [4] drei Handrakel angefertigt, die zur Einstellung der Gießhöhen mit Mikrometerschrauben höhenverstellbare Schneiden haben (Abb. 3). Die Breite der Rakel wurde auf 140, 160 und 180 mm ausgelegt. Die unterschiedliche Breite gewährleistet, daß nach dem Aufgießen der ersten Grünfolienschicht mit z. B. 140 mm Breite das zweite Handrakel nicht auf den bereits vergossenen Schlicker aufsetzt. Mit dieser Apparatur können Grünfolien hergestellt werden, die aus zwei bzw. drei Lagen und aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

[0026] Das Aufeinandergießen der verschiedenen Schlicker erfolgt in unterschiedlichen Stadien: gleichzeitig, mit kurzer zeitlicher Versetzung oder nach einer Trocknungszeit von einem Tag. Bei dem gleichzeitigen Vergießen aller drei Schlicker erfolgt das Aufgießen der jeweiligen Schicht auf die noch nasse Schicht. Anders verhält es sich beim Vergießen nach einer Trocknungszeit von einem Tag. Die zuerst aufgegossene Grünfolie ist in dieser Zeit vollständig getrocknet, so daß beim Aufgießen der nächsten Schicht die schon getrocknete Schicht das Lösungsmittel aus der aufgegossenen Schicht zieht, was zu einem besonders innigen Verbund zwischen den beiden Folien führt.

[0027] Das Aufeinandergießen ist nun unabhängig von den o. g. Verfahrensweisen und von den Schlickertypen. Es ist möglich, rüffreie Schichtstrukturen herzustellen. Dabei konnten unterschiedliche Schlicker in beliebiger Reihenfolge mehrfach aufeinander gegossen werden. Damit ist es ferner möglich, sehr dicke Folienstärken sukzessive aufzubauen.

stoffe am Beispiel eines PZT-Biegers, Symposium 6 (1996), p. 557–562, In Werkstoff- und Verfahrenstechnik, G. Ziegler, H. Cherdron, W. Hermetl, J. Hirsch und H. Kolaska (Hrsg.), DGM-Informationsgesellschaft Verlag, Frankfurt am Main; Germany, 1997

- [6] J. L. Besson, P. Boch, T. Chartier: Alumina-Zirconia layer composites, in High Tech Ceramics, P. Vincenzini (ed.), Elsevier Sci. Publ., Amsterdam (1987), p. 633–642
- [7] P. Boch, T. Chartier und M. Huittepain: Tape Casting of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ Laminated Composites, J. Am. Ceram. Soc. 69 (1986), p. C191–C192

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von geschichteten keramischen Verbundwerkstoffen oder monolithischen Strukturen mit folgenden Schritten:
Herstellung einer eine erste Schicht bildende keramische Folie durch Vergießen eines ersten Schlickers auf eine Unterlage,
Aufgießen mindestens eines weiteren Schlickers auf die erste Schicht, so daß eine mehrschichtige keramische Folie gebildet ist,
Trocknen zumindest einer obersten Schicht der mehrschichtigen keramischen Folie und
Sintern der getrockneten mehrschichtigen keramischen Folie.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Schlicker als flüssige Phase ein Lösungsmittel enthalten, dem mindestens einer der folgenden Stoffe zugesetzt wird: Dispergiertmittel, Binder, Plastifizierer.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei der erste Schlicker als wesentlichen Feststoffbestandteil ein erstes keramisches Pulver und der weitere Schlicker als wesentlichen Feststoffbestandteil ein zweites keramisches Pulver enthält, welches verschieden vom ersten keramischen Pulver ist.
4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei das erste keramische Pulver im wesentlichen aus einem ersten Metalloxid und das zweite keramische Pulver im wesentlichen aus einem zweiten Metalloxid gebildet ist, welches verschieden vom ersten Metalloxid ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei die erste Schicht vor dem Aufgießen des weiteren Schlickers so getrocknet wird, daß eine flexible Grünfolie gebildet ist.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die flexible Grünfolie auf eine Rolle aufgerollt und vor dem Aufgießen der weiteren Schicht/en wieder von der Rolle abgerollt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei bei der Lösungsmittel des weiteren Schlickers in die getrocknete darunter liegende Schicht gezozen wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, wobei die Trocknungszeit einen Tag beträgt.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei mindestens einem der Schlicker Fasern zugesetzt sind.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei die erste Schicht nach dem Doctor-Blade Verfahren hergestellt wird.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei das Aufbringen der weiteren Schicht/en nach dem Doctor-Blade Verfahren durchgeführt wird.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, wobei als erster Schlicker ein Al_2O_3 -Schlicker verwendet wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-

Literaturverzeichnis

- [1] H. Hellebrand, Tape Casting, Materials Science and Technologie, Vol. 17A, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim (1996)
- [2] R. E. Mistler: Tape Casting, in Engineered Materials Handbook, 4 ASM Int., Materials Park, Ohio (1991), p. 161–165
- [3] A. Roosen, Laminierung von keramischen Grünfolien: Grenzen und Möglichkeiten bestehender und neuer Verfahren, In Werkstoffwoche '98, Band VII, J. Heinrich, G. Ziegler, W. Hermetl, H. Riedel (Hrsg.), Wiley-VCH, Weinheim, Deutschland, 1999, p. 113–118
- [4] R. E. Mistler: High Strength Alumina Substrates Produced by a Multiple-Layer Casting Technique, Am. Ceram. Soc. Bull. 52 (1973), p. 850–854
- [5] J. Gesemann, R. Lenk, S. Starke, B. Alm and K. Scharner: Foliengießtechnologie für Mehrphasengradientenwerk-

7

sprüche, wobei als weiterer Schlicker ein, vorzugsweise mit Y_2O_3 versetzter, ZrO_2 -Schlicker verwendet wird.

14. Doctor-Blade Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit mindestens zwei separaten höhenverstellbaren Handrakeln.

5

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

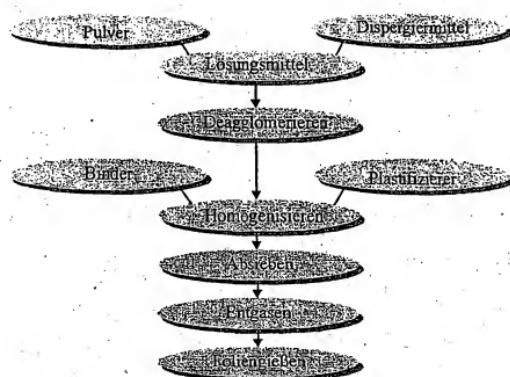


Abb. 1

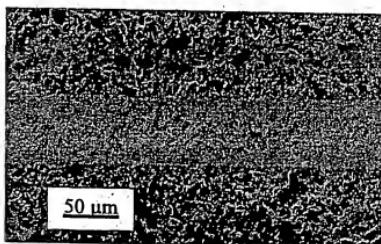


Abb. 2

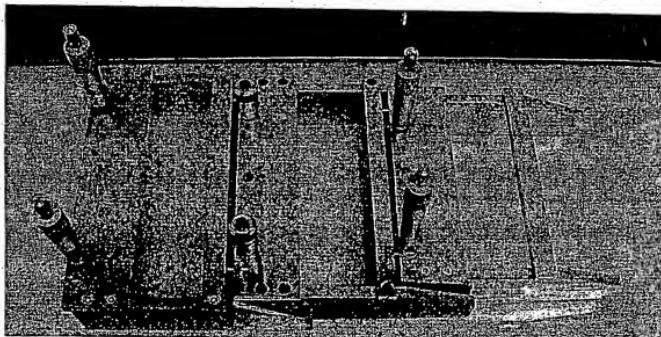


Abb. 3

BEST AVAILABLE COPY